

Филонин О.В., Андраде Торрес Арнольд Даниел

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАНИЯ МИНИАТЮРНЫХ ИОННО – ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ НАНОСПУТНИКОВ

Наноспутники (НС), микроспутники (МС), малые космические аппараты (МКА) – весьма перспективный вид космической техники [1]. Такие аппараты весят всего несколько килограммов и могут выводиться в космос в качестве попутной нагрузки или сразу пакетами в десятки и даже сотни единиц. Кластеры спутников могут использоваться [2] в качестве ретрансляционной сети, для дистанционного зондирования Земли, научных миссий, в том числе полётов к другим планетам, исследования ионосферы. Однако у наноспутников есть серьёзный недостаток – отсутствие двигателей тяги и ориентации. В большинстве случаев наноспутники даже не могут менять свою ориентацию в пространстве, не говоря уже о разгоне и маневрировании в глубоком космосе. Решить эту проблему не так-то просто, поскольку в целях безопасности основной нагрузки наноспутник не может содержать отделяемых и взрывающихся частей (например, пиропатронов и ракетных бустеров), а также баков для горючего и окислителя, находящихся под давлением более 1,2 атмосфер и т.д.

Двигатели малой тяги, которые осуществляют коррекцию и стабилизацию космических аппаратов, обладают некоторыми особенностями, например, длительным ресурсом, высокой надёжностью, оптимальной «ценой» тяги (отношение энергетических затрат к единице тяги). Для обеспечения долгосрочного ресурса необходимо уменьшить температуру конструктивных элементов плазменных движителей, плазма не должна взаимодействовать с элементами конструкции [3]. В основном скорость истекающей плазмы (характеристическая скорость) определяет удельный импульс движителя. Существующие образцы ионных, плазменных двигателей (ИПД), такие как Micro Thrust, капиллярные лазерные движители, основанные на эффекте абляции [4], способны незначительно изменять характер движения НС в течение достаточно большого интервала времени, так как их мощность составляет всего лишь несколько ватт.

Авторами разработан ряд многосопельных миниатюрных ИПД, выполняющих роль тяговых и двигателей ориентации. Эскизы конструктивных решений приведены на рис. 1.

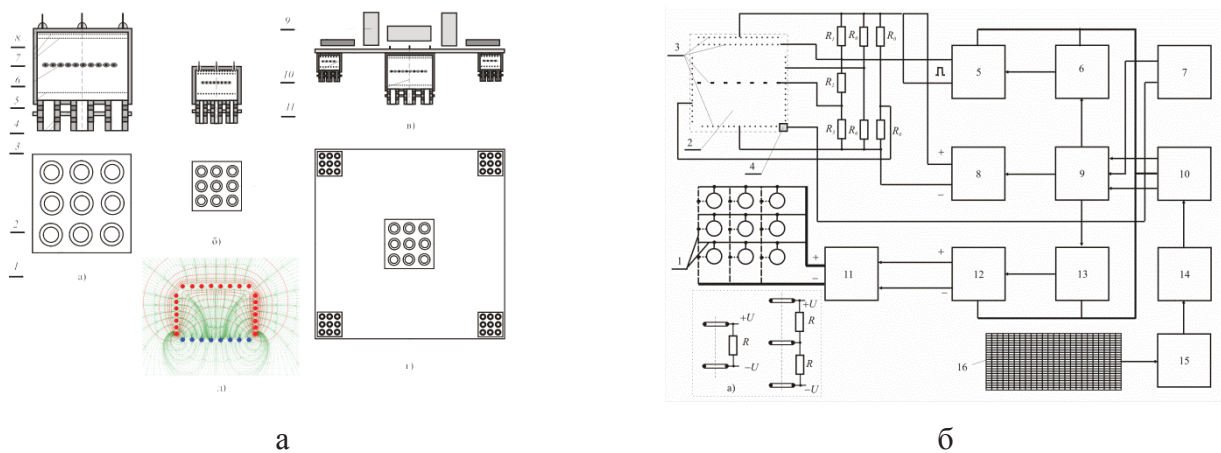


Рис. 1. а – эскизы тягового двигателя и двигателей ориентации, их местоположение в основании НС, конфигурация электрических полей в РК ИПД; б – структурная схема модуля управления миниатюрными многосопельными ИПД

На рис. 1а показан эскиз тягового варианта ИПД для НС с массами до 7 кг – конфигурация 3D-7U CubeSat (крест Макарова). Источником ионов в данном двигателе служит металлическая ртуть, помещённая в сетчатый контейнер. Первичная ионизация атомов ртути, потенциал ионизации которых составляет 10,4 В, осуществляется с помощью радиоактивного источника γ – излучения на основе $^{137}\text{Cs} - 7$, размещённого в том же контейнере. Матричная сборка сопел установлена на нижнем основании рабочей камеры. Каждое сопло является линейным ускорителем с одним или двумя ускоряющими промежутками. Первый ускоряющий электрод напылён на верхнем торце сопла. Тягой каждого сопла можно управлять, варьируя энергии ускорения ионных потоков путём изменения напряжений, прикладываемых к парам ускоряющих электродов. Рабочая камера (РК) в данной конструкции выполнена в виде параллелепипеда, внутри которой размещены сетчатые электроды, на которые поданы ускоряющие отрицательный и положительные потенциалы. Средний сетчатый электрод, на который подан относительно небольшой потенциал, служит коллектором для сбора компонентов, имеющих отрицательные заряды. Источником ионов ртути служит сравнительно крупноячеистая сетка, на которую нанесён компаундный композит из мелкокристаллического порошка ^{137}Cs и металлической ртути – для механической прочности. В промежуточном электроде, расположенном вблизи верхнего электрода, в объёме его металла под воздействием электрического поля, приложенного между верхним и нижним электродами (разность потенциалов $(50 \div 200 \text{ В})$, осуществлено разделение зарядов. Аналогичная ситуация наблюдается в объёме металла сетки – источника ионов. Другими словами, данная конструкция электродов может быть представлена как система трёх

конденсаторов, соединённых последовательно. Такая комбинация электродов позволяет при относительно небольших потенциалах, прикладываемых к двум верхним электродам, осуществить плазменный разряд тлеющего или искрового типа. Это, в свою очередь, способствует процессу ионизации атомов и ионов ртути и в какой-то степени увеличивает давление в рабочей камере. Для повышения эффективности наполнения сопел-ускорителей и увеличения энергии ионов ртути на боковую поверхность РК напылены электроды, к которым приложен положительный потенциал ($50 \div 150$ В) по отношению к нижнему отрицательному электроду. Так как габаритные размеры такого тягового ИПД составляют всего лишь ($26 \times 26 \times 30$ мм), то он монтируется непосредственно на плату управления с помощью колодки контактов, каждый контакт которой соединён с соответствующим ускоряющим электродом.

Для управления параметрами рабочих процессов рассматриваемых миниатюрных ИПД авторами разработан микропроцессорный модуль управления, структурная схема которого приведена на рис. 1б. Подача соответствующих разностей потенциалов на электроды (3), размещённые в рабочей камере (2), осуществляется через высокоомные делители напряжений, состоящие из резисторов R_1, R_2, R_3, R_0 . В рабочей камере установлен также миниатюрный датчик температуры – термopара (4). Для возбуждения плазменного разряда между близко расположенными двумя верхними сетчатыми электродами служит двухтактный высоковольтный источник (5), формирующий прямоугольные импульсы (меандр) частотой 20 кГц, амплитуда которых может изменяться в пределах ($50 \div 200$ В), под управлением сигналов микропроцессора (9). Запуск этого источника осуществляется с помощью формирователя импульсов (6). Для формирования разности потенциалов, прикладываемых к верхнему и нижнему электродам, служит одноктактный высоковольтный преобразователь (8), снабжённый выпрямителем. Для его запуска использован формирователь прямоугольных импульсов с частотой 20 кГц, который через соответствующие делители управляется сигналами микропроцессора. К этому же источнику подсоединены и боковые электроды, состоящие из резисторов R_0 . В зависимости от типа ИПД – тяговый или ориентационный – в линейных сопловых ускорителях соответственно применяются двухкаскадная или одноккаскадная системы ускорения. Значение массы НС определяют величину ускоряющих напряжений, прикладываемых к электродам ($500 \div 2000$ В). Подача ускоряющих потенциалов осуществляется через высокоомные резисторы R , которые образуют двухслойную или трёхслойную коммутационную матрицу (11), располагаемую на платах

коммутации ИПД. Напряжение питания для них вырабатывается однотоковым высоковольтным преобразователем (12), снабжённым выпрямителем и связанным с формирователем прямоугольных импульсов (13) (частота 20 кГц), управляемым микропроцессором. Электропитание модуля ИПД осуществляется с помощью аккумуляторного блока (14), соединённого с импульсным преобразователем напряжения (10), вырабатывающим необходимые напряжения (3,3, 5, 12 В) для микропроцессора и формирователей ускоряющих напряжений. Для компенсации заряда аккумуляторов служит солнечная панель (16), соединённая с ним через контроллер (15).

Таким образом, предложена линейка миниатюрных и малогабаритных ионно-плазменных двигателей для нано- и микроспутников, значительно превосходящих известные аналоги по соотношению «энергозатраты – сила тяги».

Предложенные конструкции ИПД просты в реализации, обладают высокой надёжностью и простотой монтажа на стандартные аппараты форматов 1U, ..., 3U - 7U, 27U CubeSat и на микроспутники.

Библиографический список

1. Dana Reizniece-Ozola. Business and legal aspects for small satellite control and payload data download using available commercial space-based communication systems // ISU EMBA 12 Module E – Thesis. 28 August. 2012.
2. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли / Н. Н. Севастьянов [и др.] // Труды МФТИ. 2009. Т. 1, № 3. С. 14–22.
3. Белан Н.В., Ким В.П., Оранский А.И., Тахонов В.Б. Стационарные плазменные двигатели. – Харьк. авиац. ин-т. – Харьков, 1989.
4. Булкин Ф.В., Прохоров А.М. «Использование лазерного источника энергии для создания реактивной тяги». УФН, 1976. Т. 119, Вып. 3. С. 425–446.